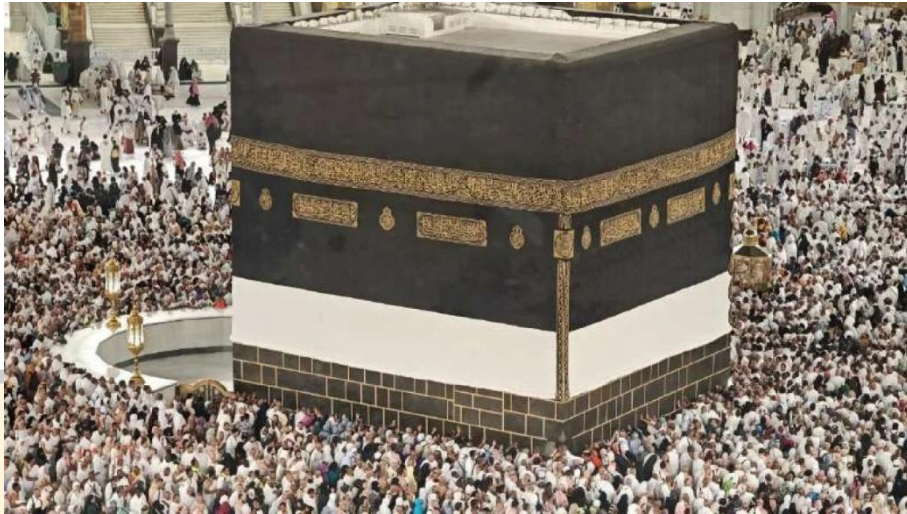


BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelaksanaan ibadah umrah terus menunjukkan eskalasi jumlah jemaah yang sangat masif, di mana pada kuartal keempat tahun 2025 saja, total jemaah umrah telah melampaui angka 11,2 juta orang [1]. Besarnya skala pemberangkatan ini menuntut adanya persiapan yang matang melalui bimbingan manasik umrah, yang berfungsi sebagai sarana krusial untuk membekali jemaah dengan kesiapan mental, spiritual, serta pemahaman teknis tata cara ibadah sesuai syariat sebelum bertolak ke tanah suci [2], [3]. Namun dalam pelaksanaannya, penyelenggaraan manasik sering kali dihadapkan pada dinamika dan kendala akibat sangat beragamnya latar belakang jemaah, baik dari segi rentang usia, tingkat pendidikan, kondisi fisik, maupun pengalaman ibadah sebelumnya [2]. Permasalahan ini menjadi semakin kompleks ketika keterbatasan waktu dan sarana membuat banyak agen penyelenggara hanya memfokuskan bimbingan pada penyampaian materi secara verbal dan teoretis, tanpa disertai simulasi praktik secara langsung [2], [3]. Akibatnya, banyak jemaah, terkhusus bagi mereka yang baru pertama kali berangkat (orang awam) maupun yang berusia lanjut, rentan mengalami kebingungan karena belum memiliki gambaran visual yang utuh mengenai teknis pelaksanaan rukun ibadah yang menuntut aktivitas fisik seperti tawaf dan sa'i. Padahal, transfer pengetahuan yang hanya bersifat teoretis cenderung tidak akan bertahan lama di dalam ingatan jemaah apabila tidak didampingi dengan pengalaman mempraktikkannya secara langsung [3].



Gambar 1. 1 Kondisi Kepadatan Jemaah di Masjidil Haram 2025

Pelaksanaan bimbingan manasik umrah pada dasarnya memiliki peran yang sangat esensial sebagai bentuk pelayanan dan perlindungan untuk memastikan jemaah memiliki bekal ilmu pengetahuan serta keterampilan tata cara ibadah yang optimal [4]. Mengingat ibadah umrah bukanlah rutinitas harian layaknya salat lima waktu, melainkan pengalaman spiritual yang sering kali hanya dilakukan sekali seumur hidup, jemaah sangat membutuhkan edukasi dan panduan khusus mengenai tahapan ritual apa saja yang harus dilaksanakan [5], [6]. Namun, penyelenggaraan manasik yang ada pada saat ini masih memiliki sejumlah kekurangan dan kerap berjalan tidak optimal akibat terhambat oleh keterbatasan tingkat pendidikan serta kemampuan literasi jemaah [4]. Lebih lanjut, metode bimbingan saat ini sering kali hanya berfokus pada tataran teknis prosedural semata tanpa menyelami kedalaman makna spiritualnya, sehingga berpotensi mereduksi nilai ibadah umrah menjadi sekadar gaya hidup (*life style*) atau ukuran kemapanan ekonomi [7]. Akibat minimnya edukasi serta pendampingan yang komprehensif, banyak Jemaah, terkhusus pemula dan lanjut usia, kerap mengalami kendala teknis dan terpaksa mengandalkan informasi yang tidak akurat dari media sosial [7]. Permasalahan ini memuncak ketika jemaah tiba di tanah suci apalagi di tengah kerumunan masif jutaan manusia yang bergerak secara bersamaan, jemaah sangat berisiko mengalami bahaya disorientasi arah atau tersesat dari rombongannya [5]. Oleh karena itu, untuk menutupi celah kelemahan manasik konvensional tersebut, terdapat urgensi yang tinggi terhadap kehadiran sebuah sistem pemanduan dan edukasi yang canggih.

Sebagai solusi inovatif untuk mengatasi berbagai keterbatasan fisik dan risiko kesehatan tersebut, pemanfaatan teknologi simulasi interaktif tiga dimensi (3D) mulai dikembangkan sebagai media bimbingan manasik berbasis pengalaman langsung (*experiential learning*) [8], [9]. Melalui proyeksi lingkungan digital Masjidil Haram secara fotorealistik, teknologi simulasi spasial ini memungkinkan calon jemaah untuk mempelajari dan mengeksplorasi tata cara ibadah secara mandiri tanpa terhalang oleh kendala ruang, waktu, maupun biaya [9], [10]. Integrasi stimulasi visual yang nyata disertai audio pemandu bacaan doa terbukti mampu meningkatkan retensi ingatan kognitif serta pemahaman konseptual jemaah [8], [9]. Salah satu contoh keberhasilan teknologi ini adalah aplikasi *Virtual Hajj Journey* yang diuji coba pada kelompok bimbingan KBIHU Al-Falah, yang sukses memperoleh tingkat validitas instruksional sebesar 91,54% dari para pakar, serta rancangan aplikasi manasik serupa oleh Yaqin dan Tholib (2022) yang memperoleh skor usability pengguna sebesar 91,8% [11]. Meskipun menawarkan potensi edukatif yang luar biasa, mayoritas aplikasi manasik tiga dimensi yang beredar saat ini masih terbentur pada keterbatasan teknologi pelacakan perangkat keras yang mendasar. Sebagian besar sistem tersebut hanya dirancang untuk dijalankan pada perangkat penampil visual (*headset*) murah berbasis ponsel pintar, seperti Google Cardboard, yang hanya mendukung sistem pelacakan tiga derajat kebebasan (*3 Degrees of Freedom* atau 3-DoF) [12]. Sistem 3-DoF ini hanya mampu mendeteksi arah tolean kepala pengguna (rotasi yaw, pitch, roll) melalui sensor giroskop internal ponsel, namun sama sekali tidak dapat melacak perpindahan posisi tubuh jemaah secara linier (translasi koordinat X, Y, Z) di ruang fisik [12]. Akibatnya, aktivitas krusial dalam ibadah umrah yang menuntut pergerakan fisik aktif melintasi jarak sesungguhnya, seperti berjalan memutar mengitari Ka'bah dalam rukun Tawaf atau melangkah bolak-balik antara bukit Safa dan Marwah dalam rukun Sa'i, tidak dapat diterapkan dengan realistis [10], [12]. Keterbatasan pelacakan ini tidak hanya menurunkan tingkat kehadiran spasial jemaah di lingkungan simulasi, tetapi kesenjangan sensorik di mana mata melihat visual dirinya seolah bergerak melangkah sedangkan tubuh fisiknya diam juga rentan memicu gejala mual dan pusing (*motion sickness*) yang parah, yang justru mengganggu kenyamanan dan efektivitas proses belajar jemaah [10], [12].

Untuk mengatasi kelemahan pelacakan perangkat penampil seluler tersebut dan menghadirkan pengalaman navigasi enam derajat kebebasan (6-DoF) secara mandiri, teknologi *Visual Simultaneous Localization and Mapping* (V-SLAM) hadir sebagai solusi mesin penggerak yang ideal. Secara konseptual, V-SLAM merupakan metode komputasi penglihatan komputer yang memungkinkan perangkat untuk secara bersamaan membangun peta tiga dimensi dari lingkungan sekitar yang belum diketahui dan secara *real-time* melacak posisi orientasinya di dalam peta tersebut hanya dengan mengandalkan input visual dari sensor kamera [13]. Berbeda dengan sistem pelacakan *outside-in* yang membutuhkan pelacak atau kamera eksternal tambahan, V-SLAM mengandalkan metode *inside-out tracking* di mana sensor kamera tertanam langsung pada perangkat untuk "melihat" dan melacak lingkungan sekitarnya dari dalam ke luar [14], [15]. Metode ini bekerja secara mandiri dengan memetakan titik-titik fitur statis di dunia nyata, seperti sudut dinding atau pola perabotan di ruang fisik jemaah, lalu menerjemahkan pergerakan langkah fisik pengguna tersebut menjadi pergerakan avatar yang sinkron di ruang simulasi digital [13], [15]. Di antara berbagai arsitektur yang ada, algoritma ORB-SLAM2 yang beroperasi menggunakan kamera tunggal (*monocular*) dipilih sebagai inti dari sistem pelacakan ini. ORB-SLAM2 merupakan kerangka kerja terbuka (*open-source*) yang sangat tangguh karena mengekstraksi fitur visual menggunakan metode *Oriented FAST and Rotated BRIEF* (ORB) untuk seluruh tugas pelacakan, pemetaan, dan pengenalan tempat [16], [17]. Algoritma ORB sangat efisien dalam memproses gambar, sehingga cocok dijalankan pada perangkat dengan sumber daya komputasi CPU standar tanpa menyebabkan penurunan kecepatan bingkai (*frame rate*) yang drastis [16], [17]. Lebih jauh lagi, arsitektur ORB-SLAM2 dilengkapi dengan kemampuan relokalisasi dan modul penutupan gelung (*loop closing*) secara *real-time* yang sangat esensial untuk mengoreksi akumulasi kesalahan penyimpangan posisi (*drift*) yang lazim terjadi pada kamera *monocular* [16], [17], [18]. Kemampuan koreksi lintasan untuk mencapai konsistensi global ini menjadikannya sangat relevan untuk mensimulasikan rukun Tawaf maupun rukun Sa'i yang menuntut akurasi absolut antara titik awal dan titik akhir putaran jemaah.

Sebagai bagian dari penghujung solusi yang ditawarkan, arsitektur sistem ini dibangun bukan sekadar sebagai aplikasi pencari jalan (*wayfinding*) atau permainan 3D imajinatif, melainkan sebagai sebuah fasilitas edukasi simulasi yang mengimplementasikan alur logika *State Machine*. Pendekatan ini memastikan sistem secara tegas memandu pengguna untuk mematuhi urutan rukun ibadah umrah secara linier, yaitu dimulai dari Ihram, Tawaf, Sa'i, Tahallul, hingga Tertib. Di dalam lingkungan simulasi ini, pengguna sama sekali tidak diberikan kebebasan untuk memanipulasi atau melompati tahapan ibadah secara acak. Sebagai contoh, apabila algoritma melacak bahwa jemaah belum menggenapkan putaran Tawaf secara tepat sebanyak tujuh kali, maka sistem navigasi tidak akan membuka akses rute menuju area Sa'i. Mekanisme penguncian ini dirancang untuk menjamin bahwa simulasi navigasi yang dibangun senantiasa tunduk pada aturan syariat Islam. Oleh karena itu, teknologi V-SLAM di sini difungsikan secara esensial bukan untuk mencari rute tercepat layaknya peta digital pada umumnya, melainkan untuk mengukur tingkat kepatuhan dan akurasi pergerakan spasial jemaah dalam menuntaskan rukun ibadah. Berdasarkan urgensi permasalahan bimbingan manasik, kebutuhan akan validitas ruang simulasi, serta keandalan pendekatan arsitektur teknologi tersebut, maka penulis secara sistematis mengangkat penelitian tugas akhir dengan judul "*Implementasi Visual-Simultaneous Localization and Mapping Menggunakan Algoritma ORB-SLAM2 sebagai Simulasi Navigasi bagi Jemaah Umrah*".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pertanyaan penelitian utama dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengimplementasikan prototipe sistem simulasi navigasi berbasis V-SLAM yang dirancang khusus untuk merepresentasikan lingkungan dan rute navigasi ibadah umrah?
2. Bagaimana mengevaluasi dan menganalisis kinerja sistem simulasi berbasis V-SLAM dalam melakukan tugas navigasi secara *real-time* di dalam lingkungan simulasi yang merepresentasikan area Masjidil Haram?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, terdapat beberapa tujuan penelitian yang ingin dicapai, yaitu sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan prototipe sistem simulasi navigasi berbasis V-SLAM yang dirancang secara khusus untuk mensimulasikan rute dan tata ruang lingkungan ibadah umrah secara mandiri.
2. Mengevaluasi dan menganalisis kinerja dari sistem simulasi berbasis V-SLAM dalam melakukan tugas pelacakan posisi (lokalisasi) dan pemetaan navigasi secara *real-time* di dalam lingkungan virtual yang merepresentasikan area Masjidil Haram.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan, baik secara teoretis maupun praktis, yaitu sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Secara teoretis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur ilmiah dengan menyediakan data empiris mengenai implementasi algoritma Visual Simultaneous Localization and Mapping (V-SLAM), khususnya ORB-SLAM2, dalam skenario Simulated-SLAM. Hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi pemahaman yang mendalam tentang keandalan pelacakan spasial 6 Degrees of Freedom (6-DoF). Selain itu, penelitian ini juga menjadi rujukan akademis tentang bagaimana stimulasi visual dapat menurunkan beban kognitif dan membantu pembentukan memori spasial (peta kognitif) pengguna tanpa mengharuskan kehadiran fisik di lokasi simulasi secara langsung.

2. Manfaat Praktis

Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi landasan inovasi teknologi bagi penyelenggara ibadah haji dan umrah, seperti Kementerian Agama Republik Indonesia (Kemenag), Badan Pengelola Keuangan Haji (BPKH), hingga biro perjalanan (travel), dalam mengembangkan media manasik digital yang interaktif dan efektif. Bagi calon jemaah umrah, prototipe sistem simulasi

navigasi ini akan berfungsi sebagai fasilitas gladi resik navigasi yang representatif dan prosedural dalam menjalankan simulasi rukun umrah. Implementasi teknologi ini secara luas berpotensi meningkatkan kemandirian orientasi arah jemaah, meminimalisasi risiko kepanikan atau tersesat di Masjidil Haram, menekan angka kelelahan fisik akibat simulasi konvensional, serta menghindari risiko kesehatan dari kerumunan massa, yang pada akhirnya bermuara pada peningkatan kekhusyukan dan kualitas pengalaman spiritual jemaah di tanah suci.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, agar penelitian ini dapat dilakukan secara lebih mendalam, terukur, dan fokus, maka ditetapkan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Implementasi dan pengujian prototipe simulasi navigasi *Virtual Reality* (VR) berbasis algoritma ORB-SLAM2 ini dikembangkan secara spesifik untuk dijalankan pada lingkungan *desktop* (komputer/laptop). Oleh karena itu, implementasi sistem pada platform mobile (seperti Android dan iOS) tidak termasuk dalam lingkup penelitian ini.
2. Pengujian sistem pelacakan (tracking) tidak dilakukan dengan mengakuisisi data kamera fisik secara langsung di lokasi Masjidil Haram, Arab Saudi. Untuk mengendalikan variabel, menjamin keselamatan, serta mengatasi kendala geografis, penelitian ini dieksekusi menggunakan pendekatan Simulated-SLAM. Pada pendekatan ini, data input visual untuk algoritma ORB-SLAM2 diperoleh melalui transmisi proyeksi Render Texture dari kamera virtual yang menyusuri lingkungan simulasi 3D di Unity Engine pada perangkat *desktop*.
3. Simulasi lingkungan dan tata ruang difokuskan secara eksklusif pada replikasi area inti ibadah, yaitu area Mataf untuk rukun Tawaf dan jalur Masaa untuk rukun Sa'i, yang berjalan mematuhi urutan linier logika State Machine. Sistem ini tidak memodelkan dinamika kecerdasan buatan untuk melakukan *rendering* interaksi tabrakan fisik atau perilaku acak kerumunan jemaah secara realistis.

4. Evaluasi efektivitas kinerja sistem secara primer dititikberatkan pada pengujian teknis, yang meliputi akurasi komputasi lokalisasi algoritma V-SLAM, khususnya ORB-SLAM2 di ruang simulasi. Pengujian fungsionalitas dan pengalaman pengguna akan dilakukan secara terbatas menggunakan sampel responden yang terkontrol sehingga uji coba berskala besar secara langsung kepada populasi jemaah umrah aktual sebelum keberangkatan berada di luar batasan studi ini.
5. Interaksi pergerakan pengguna di dalam lingkungan simulasi masih terbatas. Pengguna hanya dapat mengendalikan arah sudut pandang melalui pergerakan rotasi. Sementara itu, pergerakan translasi tidak dapat dikendalikan secara bebas oleh pengguna, melainkan digerakkan secara otomatis berdasarkan hasil data estimasi matriks pose dari algoritma ORB-SLAM2. Oleh karena itu, sistem ini difokuskan pada pengujian pelacakan trajektori dan belum memfasilitasi eksplorasi ruang secara acak yang dilengkapi dengan fitur peringatan apabila pengguna keluar dari rute navigasi.

